

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
28. März 2002 (28.03.2002)

PCT

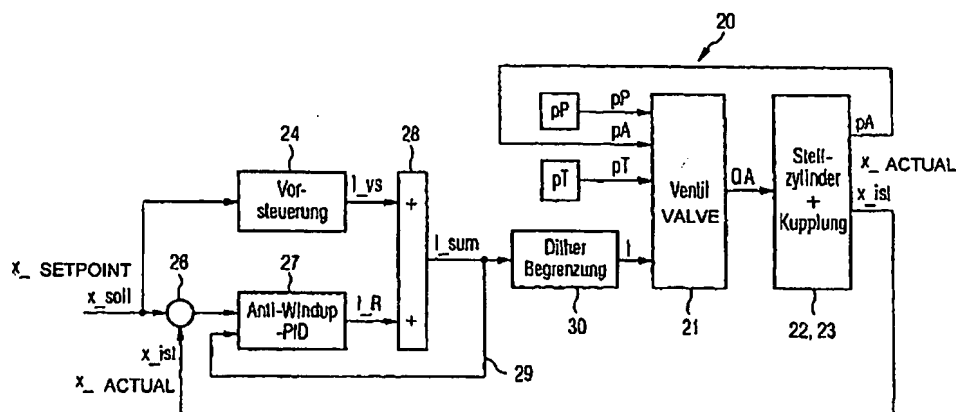
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 02/25131 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation?: F16D 48/06 (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BAMBERGER, Joachim [DE/DE]; Wurmstrasse 31a, 82131 Stockdorf (DE). HORN, Joachim [DE/DE]; Geigerstrasse 5, 80689 München (DE). MICHAU, Peter [DE/DE]; Käthe-Kollwitz-Strasse 67, 93055 Regensburg (DE). NOCK, Ernst [DE/DE]; Aussingerstrasse 8, 93057 Regensburg (DE).
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03573
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
17. September 2001 (17.09.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (30) Angaben zur Priorität:  
100 46 107.7 18. September 2000 (18.09.2000) DE (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS AKTIENGESSELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE). (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING AN AUTOMATIC MOTOR VEHICLE CLUTCH

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM STEUERN EINER AUTOMATISCHEN KRAFTFAHRZEUGKUPPLUNG



24...PRECONTROL  
30...DITHER LIMIT  
22.23...ACTUATING CYLINDER + CLUTCH

(57) Abstract: According to the method, a clutch with an electromagnetically operated valve controls a volume flow QA that builds up a pressure in an actuator and hereby determines the position of the clutch, with the coil current of said valve. A control deviation is determined and is used to calculate a control signal I<sub>R</sub> for the clutch position. A precontrol signal I<sub>vs</sub> which is calculated from a position setpoint value of the clutch and with which nonlinearities of the control system are compensated, is added to the control signal.

(57) Zusammenfassung: Bei dem Verfahren steuert eine Kupplung mit einem elektromagnetisch betätigten Ventil über dessen Spulenstrom einen Volumenstrom QA, der in einem Stellglied einen Druck aufbaut und damit die Position der Kupplung bestimmt. Es wird eine Regelabweichung ermittelt und daraus ein Regelsignal I<sub>R</sub> für die Kupplungsposition berechnet. Dem Regelsignal wird ein aus einem Positionssollwert der Kupplung berechnetes Vorsteuersignal I<sub>vs</sub>, mit dem Nichtlinearitäten der Regelung kompensiert werden, additiv hinzugefügt.

WO 02/25131 A1

**Erklärungen gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii) für die folgenden Bestimmungsstaaten JP, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR)
- Erfindererklärung (Regel 4.17 Ziffer iv) nur für US

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht

- vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

## Beschreibung

## Verfahren zum Steuern einer automatischen Kraftfahrzeugkupplung

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren nach dem Oberbegriff von Anspruch 1. Eine solche Kraftfahrzeugkupplung weist ein Stellglied zum Betätigen der Kupplung und ein elektromagnetisch betätigtes Ventil auf, mit dessen Spulenstrom ein Volumenstrom gesteuert wird, der in dem Stellglied einen Druck aufbaut und damit die Position der Kupplung festlegt, indem aus einem Positionssollwert und dem Istwert der Position eine Regelabweichung ermittelt und daraus ein Regelsignal berechnet wird, mit dem die Kupplungsposition gesteuert wird.

15

Neben den herkömmlichen durch den Fahrer direkt betätigten Kraftfahrzeugkupplungen werden zunehmend automatisch betätigte Kupplungen in Kraftfahrzeugen eingesetzt (siehe zum Beispiel DE 44 34 111 A1, DE 38 31 449 A1). Da es sich bei der Regelung der Kupplungslage um eine nicht lineare Regelungsaufgabe handelt, müssen aufwendige Anpassungen durchgeführt werden, wenn ein geeigneter bekannter Regler, zum Beispiel ein PID-Regler, verwendet werden soll.

25

In der Praxis werden einerseits die Parameter für den P-, den I- und den D-Anteil eines PID-Reglers abhängig von der Differenz zwischen der Istgröße und der Führungsgröße der Kupplungsposition festgelegt. Der Zusammenhang zwischen den Reglerparametern und den Fehlerwerten andererseits wird in einem Kennfeld abgelegt. Dies hat folgende Nachteile.

30

Das Kennfeld enthält sowohl die Kompensation der Nichtlinearitäten als auch die Dynamik des Regelvorganges. Deshalb muss bei einer Änderung der Dynamikanforderung das komplette Kennfeld neu kalibriert werden. Außerdem werden durch den relativ

35

großen P-Anteil des Reglers hohe Anforderungen an die Dynamik des Stellgliedes - hier ein Stromregler und ein elektromagnetisches Ventil - gestellt, die oft nicht erfüllt werden können.

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Steuern einer automatisch betätigten Kraftfahrzeugkupplung zu schaffen, mit dem die Kupplungslagesteuerung verbessert wird, und das insbesondere die genannten Nachteile vermeidet.

10

Die Aufgabe der Erfindung wird durch ein Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Bei dem Verfahren wird dem Reglersignal ein aus einem Positionssollwert der Kupplung berechnetes Vorsteuersignal additiv hinzugefügt. Dadurch werden die beiden Charakteristika Nichtlinearität und Dynamik des Regelkreises

15

entkoppelt.

Ein Vorteil der Erfindung liegt insbesondere darin, dass bei einer Änderung der Dynamikanforderung an den Regelkreis das zum Kompensieren der Nichtlinearitäten benutzte Vorsteuerglied des Regelalgorithmus unverändert bleiben kann. Dies vereinfacht den Kalibrationsaufwand für die Kupplungssteuerung und führt zu mehr Flexibilität bei veränderten Dynamikanforderungen, zum Beispiel hinsichtlich der Geschwindigkeit und der Minimierung von Überschwingern.

20

25

Zweckmäßige Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen niedergelegt.

30

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im folgenden anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 einen Kraftfahrzeugantrieb mit einer automatisch betätigten Kupplung, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren geregelt wird;

35

- Figur 2 ein Blockschaltbild eines Kupplungsbetätigungssystems für den Kraftfahrzeugantrieb nach Figur 1;
- Figur 3 eine modellhafte Darstellung des Kupplungsbetätigungssystems nach Figur 2;
- 5    Figur 4 die modellhafte Darstellung des Kupplungsbetätigungssystems nach Figur 3 mit einem zugehörigen Regelalgorithmus;
- Figur 5 eine Regelstrecke des Kupplungsbetätigungssystems nach Figur 3;
- 10    Figur 6 der Hydraulikölfluss in der Kupplungsbetätigung als Funktion von elektrischem Steuerstrom und Druckdifferenz;
- Figur 7 der elektrische Steuerstrom in der Kupplungsbetätigung als Funktion von Hydraulikölfluss und Druckdifferenz;
- 15    Figur 8 eine modellhafte Darstellung eines in dem Kupplungsbetätigungssystem nach Figur 2 verwendeten PID-Regelalgorithmus mit einem Antiwindup-Algorithmus;
- Figur 9 eine schematische Darstellung der Berechnung eines Antiwindup-Signals;
- 20    Figur 10 der zeitliche Verlauf von Soll- und Istposition der Kupplung bei einer Kupplungslageregelung ohne Vorsteuerung;
- Figur 11 der zeitliche Verlauf von Soll- und Istposition der Kupplung bei einer erfindungsgemäßen Kupplungslageregelung mit Vorsteuerung;
- 25    Figur 12 der zeitliche Verlauf der Stellgröße Spulenstrom bei einer Kupplungslageregelung ohne Vorsteuerung;
- Figur 13 der zeitliche Verlauf der Stellgröße Spulenstrom bei einer erfindungsgemäßen Kupplungslageregelung mit Vorsteuerung, und
- 30    Figur 14 ein Ablaufdiagramm eines in dem Kupplungsbetätigungssystem nach Figur 2 abgearbeiteten Programms.

Ein Kraftfahrzeugantrieb 1 (Figur 1) weist - soweit er für die vorliegende Erfindung von Bedeutung ist - folgende Bestandteile auf: einen Motor 2, eine Kupplung 3, einen Kupplungsaktuator (im folgenden auch als Stellglied oder

5 Stellantrieb für die Kupplung bezeichnet) 4, ein Schaltgetriebe 5, einen Getriebeaktuator 6, eine elektronische Steuerung 8 für das Stellglied 4 und den Getriebeaktuator 6 sowie eine Motorsteuerung 9. Die elektronische Steuerung 8 ist mit dem Stellglied 4 durch Steuer- und Signalleitungen 10 und mit

10 dem Getriebeaktuator 6 durch Steuer- und Signalleitungen 11 verbunden.

Das Stellglied 4 kann als elektromotorisch angetriebener oder als hydraulisch angetriebener Aktuator ausgebildet sein. Im

15 hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird ein hydraulisches Stellglied 4 verwendet, das mit der Kupplung 3 durch eine Kraftübertragungsanordnung 12 verbunden ist, die zum Beispiel als Druckleitung ausgebildet ist.

20 Bei dem Kraftfahrzeugantrieb 1 ist in dem vorliegenden Ausführungsbeispiel zwar das Schaltgetriebe 5 konstruktiv wie ein Handschaltgetriebe ausgebildet, die Schaltvorgänge werden aber automatisch durchgeführt und die Kupplung 3 wird - durch die elektronische Steuerung 8 gesteuert - betätigt, sobald

25 die Steuerung einen Schaltvorgang einleitet. Ein solches Getriebe wird als automatisches (oder auch: automatisiertes) Handschaltgetriebe, abgekürzt ASG, bezeichnet. Die erfindungsgemäße Kupplungssteuerung kann auch mit automatisch gesteuerten Kupplungen (als EKS bezeichnet) für übliche Handschaltgetriebe verwendet werden, die betätigt werden, sobald

30 der Fahrer an den Schalthebel greift, um einen Gangwechsel durchzuführen, oder aber mit vollautomatischen Schaltgetrieben, die allerdings in der Regel mit einer Nasskupplung oder einem Strömungswandler versehen sind.

Das vereinfachte Blockschaltbild (Figur 2) eines nach dem erfindungsgemäßen Verfahren geregelten Kupplungsbetätigungssystems 14 zeigt einen Regler 15 und ein Kupplungslagesystem 16. Ein Sollwert  $x_{soll}$  für die Lage oder Position der Kupplung wird von einem Sollwertgeber 17, zum Beispiel in Form eines pulsweitenmodulierten Signals, an einen Eingang des Reglers 15 gelegt. An dessen anderen Eingang gelangt der Istwert  $x_{ist}$  der Kupplungslage. Der Regler 15 ermittelt daraus als Stellsignal einen Spulen- oder Magnetstrom  $I_{ventil}$  für ein elektromagnetisch gesteuertes hydraulisches Lagesteuerventil oder EVC 21 (siehe Figur 3) und übermittelt es an den Eingang des Kupplungslagesystems 16. Ausgangssignal des Kupplungslagesystems 16 ist die Position der Kupplung  $x_z$ , die als Istwert  $x_{ist}$  zu dem Regler rückgeführt wird.

Aus Figur 3 ist ein detaillierteres Streckenmodell 20, das heißt ein Modell des zu steuernden Kupplungslagesystems 16, ersichtlich. Ein hydraulisches Ventil 21 empfängt als Eingangsgrößen einen Systemdruck  $p_P$ , einen Arbeitsdruck  $p_A$ , einen Tankdruck  $p_T$  und - über einen Signaleingang (1) - den Ventil- oder Spulenstrom  $I_{ventil}$ . Es steuert damit einen Volumenstrom  $Q$ , der in einem Stellzylinder 22 einen Druck aufbaut, welcher eine Kupplung 23 positioniert, das heißt in eine gewünschte Lage  $x_z$  verbringt, die der Istposition der Strecke entspricht. Der in dem Stellzylinder 22 der Kupplung 23 aufgebaute Druck  $p$  entspricht dem Arbeitsdruck  $p_A$ , er wirkt auch auf das Ventil 21 zurück.

In Figur 4 ist zusätzlich zu dem Streckenmodell 20 die Struktur eines Regelalgorithmus für das Kupplungsbetätigungssystem 14 dargestellt. In einer Vorsteuerung 24 wird aus dem Sollwert  $x_{soll}$  für die Kupplungslage ein Vorsteuersignal  $I_{vs}$  berechnet. In einem Subtrahierglied 26 wird aus dem Sollwert  $x_{soll}$  und dem Istwert  $x_{ist}$  der Kupplungslage die Regelabweichung  $\Delta x$  bestimmt und daraus in einem Antiwindup-PID-

- Regler 27 ein Regelsignal  $I_R$  berechnet. Dieser Regler 27 ist ein PID-Regler, der mit einem anhand von Figur 8 noch zu beschreibenden besonderen Algorithmus störende Regler-Windup-effekte [siehe S. Engell (Hrsg.) Entwurf nichtlinearer Regelungen, Verlag Oldenbourg, 1995, Seiten 239-262] ausschaltet. Er führt eine PID-Regelung mit einer definierten Rücksetzung des Integrators durch. (Ein derartiger Regler wird in der Betriebspraxis auch als „Enhanced PID-Regler“ bezeichnet.)
- 10 Die Ausgangssignale der Vorsteuerung 24 und des Antiwindup-PID-Reglers 27 werden in einem Addierglied 28 addiert. Die Signalsumme  $I_{vs}$  plus  $I_R$  wird über eine Leitung 29 an einen zweiten Eingang des Antiwindup-PID-Reglers 27 rückgeführt und es wird ihr in einem Block 30 ein Dither-Signal hinzugefügt, um Magnethysterese und Reibungseffekte im Ventil zu reduzieren. Außerdem wird die Signalamplitude beidseitig begrenzt und eine durch die Funktionsauswertung verursachte Totzeit dargestellt. An dem Signalausgang des Blocks 30 wird ein das Stellsignal für das Ventil 21 darstellender Strom  $I$  ausgegeben.
- 20 ben.

- Das Streckenmodell 44 des Kupplungsbetätigungssystems ist in Figur 5 bei geöffnetem Steuerdurchlass P-A dargestellt. Es weist folgende Blöcke auf: einen Eingang 45, an dem der Systemdruck  $p_P$  anliegt (Anmerkung: die Größen  $p_P$ ,  $p_p$  und  $p_P$  usw. sind gleichbedeutend, die unterschiedliche Schreibweise beruht auf unterschiedlichen Notationen in verschiedenen verwendeten Programmen) Von dort gelangt  $p_P$  zu dem Pluseingang eines Addierers 46, an dessen Minuseingang der Zylinder- oder Arbeitsdruck  $p_A$  anliegt. Sein Ausgangssignal wird in einem Multiplexer 47 mit dem Spulenstrom  $I$ , der an einem Eingang 48 anliegt, zu einem Vektorsignal zusammengefasst.
- 25
- 30

- Der Ausgang des Multiplexers 47 ist mit einem Block 50 verbunden, der den Volumenstrom  $Q$  berechnet und ihn auf den
- 35



Pluseingang eines Addierers 51 mit einem negiertem Eingang gibt. Auf dessen negierten oder Minuseingang wird eine Volumenänderung  $\Delta V$  gegeben, und die sich ergebende Differenz wird in einem Multiplizierer 52 mit dem Ausgangssignal eines Dividiergliedes 54 multipliziert. Auf den Zählereingang des Dividierers 54 gelangt der Elastizitätsmodul  $E_{Oel}$  der Gesamtanordnung, einschließlich des Hydrauliköls, der in einem Block 55 abhängig von dem Zylinderdruck ermittelt wird. An den Nennereingang des Dividiergliedes 54 wird das in einem Block 56 abhängig von der Zylinderposition ermittelte Volumen  $V$  des hydraulischen Kupplungsbetätigungssystems einschließlich des Stellzylinders 22 gelegt.

In einem Integrierglied 58 wird aus dem Ausgangssignal des Multiplizierers 52 der Zylinderdruck berechnet und an den Minuseingang des Addierers 46, an den Eingang von Block 55 sowie an den Eingang eines als Multiplizierer dienenden Verstärkers 59 gelegt. In diesem wird er mit der wirksamen Zylinderfläche  $A$  multipliziert. Das Ergebnis gelangt an einen Eingang eines Addierers 60, an dessen zweiten Eingang die auf den Stellzylinder einwirkende Federkraft des Zylinders  $F_{feder}$  gelangt, die in einem Block 62 aus der Zylinderposition berechnet wird. An einen dritten Eingang des Addierers 60 wird die in dem Stellzylinder auftretende Reibkraft des Zylinders  $F_{reib}$  gelegt, die in einem Block 63 ermittelt wird.

Das Ausgangssignal des Addierers 60 gelangt zu einem Verstärker 64, und wird dort durch die bewegte Masse  $m_z$  dividiert. In einem Integrierglied 66 wird das Ergebnis der Division integriert und damit die Zylindergeschwindigkeit berechnet. Durch nochmalige Integration in einem Integrierglied 67 wird die Zylinderposition berechnet und auf den Eingang des Blocks 62 und des Blocks 56 gelegt. Die Zylindergeschwindigkeit wird einerseits auf den Eingang des Blocks 63 und andererseits auf

den Eingang eines Verstärkers 68 gelegt, in dem sie mit der wirksamen Zylinderfläche  $A_z$  multipliziert wird. Das Ergebnis der Multiplikation ist eine Volumenänderung  $\Delta V$  im Zylinder, die auf einen Minuseingang des Addierers 51 gelegt wird.

5

Die Strecke 44 (Figur 5) der Kupplungsbetätigung lässt sich durch folgende drei Differentialgleichungen beschreiben:

$$\dot{x}_z = v_z \quad (I)$$

$$10 \quad \dot{v}_z = \frac{1}{m_z} (F_{Feder}^z(x_z) + A_z p + F_{Reib}^z(v)) \quad (II)$$

$$\dot{p} = \frac{E_{öl}(p)}{V(x_z)} (Q(\Delta p, x_v) - A_z v_z) \quad (III)$$

Darin sind:

$x_z$  die Position der Kupplung oder des Stellzylinders

15  $v_z$  die Geschwindigkeit der Kupplung oder des Stellzylinders

$m_z$  die bewegte Masse

$A_z$  die wirksame Fläche des Stellzylinders

$p, \dot{p}$  der Druck im Stellzylinder und dessen Ableitung

20  $E_{öl}$  den druckabhängigen Elastizitätsmodul der Gesamtanordnung

$V$  das Volumen der Gesamtanordnung

$Q$  der Volumenstrom von Hydraulikflüssigkeit

$x_v$  die Position des Ventilschiebers und

$\Delta p$  eine Druckdifferenz, die gegeben ist durch:

25

$$\Delta p = \begin{cases} p_r - p & \text{bei geöffnetem Steuerdurchlass P-A} \\ p - p_r & \text{bei geöffnetem Steuerdurchlass A-T} \end{cases} \quad (IV)$$

wobei A für einen Arbeitsdruckanschluss, P für einen Systemdruckanschluss und T für den Druck an einem (Vorrats-)Tankanschluss stehen.

- 5 Der Volumenstrom  $Q$  ist eine Funktion dieser Druckdifferenz und der Ventilschieberposition  $x_v$ .

Die Ventilschieberposition  $x_v$  und die Ventilschiebergeschwindigkeit  $v_v$  berechnen sich wie folgt

10

$$\dot{x}_v = v_v \quad (V)$$

$$\dot{v}_v = \frac{1}{m_v} (F_{Magnet}(I, x_v) + F_{Feder}^v(x_v) + F_{Str}(\Delta p, Q, x_v) + F_{Reib}^v(v_v)) \quad (VI)$$

- 15 Für die tatsächliche Steuerung des Kupplungslagesystems wird das vereinfachte Streckenmodell 44 (Figur 5) verwendet. Dabei wird die hochfrequente Dynamik des Ventilschiebers vernachlässigt und die Ventilschieberposition durch eine algebraische Gleichung der Form

20 
$$x_v^s = x_v^s(I, \Delta p, Q) \quad (VII)$$

anstelle der Differentialgleichungen (V), (VI) beschrieben. Damit ergibt sich der Volumenstrom  $Q$  als Funktion des Spulenstroms  $I$  und des Differenzdrucks  $\Delta p$ :

25

$$Q = Q_s(I, \Delta p) \quad (VIII)$$

- Diese Funktion, die den stationären Durchfluss  $Q$  in Abhängigkeit der beiden Größen  $I$  und  $\Delta p$  darstellt, wird numerisch  
30 ermittelt. Sie ist aus Figur 6 ersichtlich.

Es ergeben sich somit folgende Differentialgleichungen:

$$\dot{x}_z = v_z \quad (\text{IX})$$

$$\dot{v}_z = \frac{1}{m_z} (F_{Feder}^z(x_z) + A_z p + F_{Reib}^z(v_z)) \quad (\text{X})$$

$$\dot{p} = \frac{E_{öl}(p)}{V(x_z)} (Q_s(I, \Delta p) - A_z v_z) \quad (\text{XI})$$

- 5 Eine Berechnung der einzelnen Blöcke von Figur 5 erfolgt in einem Ausführungsbeispiel gemäß nachstehender Gesetzmäßigkeiten.

10 Befindet sich der Stellzylinder am Anschlag, so gelten folgende Differentialgleichungen:

$$\dot{x}_z = 0 \quad (\text{VIIIa})$$

$$\dot{v}_z = 0 \quad (\text{IXa})$$

$$\dot{p} = \frac{E_{öl}(p)}{V(x_z)} Q_s(I, \Delta p) \quad (\text{Xa})$$

15

Die Kupplungslage wird, da die Strecke nichtlinear ist, nichtlinear wie folgt gesteuert. Um die Schreibweise zu vereinfachen werden die Indizes z (für Zylinder) und öl im folgenden weg gelassen. Man erhält die Darstellung

20

$$\dot{x} = v \quad (\text{XI})$$

$$\dot{v} = \frac{1}{m} (F_{Feder}(x) + Ap + F_{Reib}(v)) \quad (\text{XII})$$

$$\dot{p} = \frac{E(p)}{V(x)} (Q_s(I, \Delta p) - Av) \quad (\text{XIII})$$

25 worin  $F_{Feder}$  die Federkraft und  $F_{Reib}$  die Reibkraft im Kupplungssystem sind.

Mit  $y=x$  erhält man die Zustandsgrößen

$$x=y \quad (\text{XIV})$$

$$v = \dot{y} \quad (XV)$$

$$p = \frac{1}{A} (m\ddot{y} - F_{Feder}(y) - F_{Reib}(\dot{y})) \quad (XVI)$$

Da der Volumenstrom  $Q = Q_s(I, \Delta p)$  eine bezüglich  $I$  im interessierenden Definitionsbereich monoton steigende Funktion ist, existiert eine inverse Funktion  $I = Q_s^{-1}(Q, \Delta p)$ . Diese Funktion ist aus Figur 7 ersichtlich.

Die Eingangsgröße  $I$  lässt sich als Funktion der Ausgangsgröße  $y$  und deren zeitlichen Ableitungen darstellen

$$I = I(y, \dot{y}, \ddot{y}, \ddot{y}) \quad (XVII)$$

gemäß

$$I = Q_s^{-1}(Q_F, \Delta p) \quad (XVIII)$$

mit

$$Q_F = \frac{1}{A} \frac{V(y)}{E \left( \frac{1}{A} (m\ddot{y} - F_{Feder}(y) - F_{Reib}(\dot{y})) \right)} \left( m\ddot{y} - \frac{\partial F_{Feder}(y)}{\partial y} \dot{y} - \frac{\partial F_{Reib}(\dot{y})}{\partial \dot{y}} \ddot{y} \right) + A\dot{y} \quad (XIX)$$

und

20

$$\Delta p = p_p - \frac{1}{A} (m\ddot{y} - F_{Feder}(y) - F_{Reib}(\dot{y})) \quad \text{für } Q_F \geq 0 \quad (XXa)$$

sowie

$$\Delta p = \frac{1}{A} (m\ddot{y} - F_{Feder}(y) - F_{Reib}(\dot{y})) - p_T \quad \text{für } Q_F < 0 \quad (XXb)$$

25 Dieses Ergebnis wird für eine nichtlineare Steuerung der Kupplungsbetätigung mit einem Sollstrom  $I_d$  verwendet:

$$I_d = I(y_d, \dot{y}_d, \ddot{y}_d, \ddot{y}_d) \quad (XXI)$$

Um den Steueralgorithmus zu vereinfachen, können auch höhere Ableitungen in dieser Gleichung vernachlässigt werden, zum Beispiel wie folgt

$$5 \quad I_d = I(y_d, \dot{y}_d, 0, 0) \quad (\text{XXII})$$

Wegen der Instabilität der Strecke kann die Kupplungslage nicht allein mit der beschriebenen Vorsteuerung eingestellt werden, es ist wie bereits erwähnt zusätzlich ein Regelungs-  
10 anteil erforderlich. Dieser wird von dem Antiwindup-PID-Regler 27 geliefert, bei dem es sich vorliegend um einen PID-Regler handelt, der mit einem besonderen Algorithmus störende Regler-Windup-Effekte ausschaltet.

15 Dieser Algorithmus wird im Folgenden als Antiwindup-Algorithmus bezeichnet, der durch eine aus Figur 8 ersichtliche Regelalgorithmus 70, der durch eine Rechenschaltung oder durch ein Programm realisiert wird. An einem ersten Eingang (1) liegt die Regelabweichung  $\Delta x$  an und wird in einem Ab-  
20 tasthalteglied 71 digitalisiert. Dessen Ausgangssignal wird erstens in einem Verstärker 72 mit einem Faktor P, dem Verstärkungsfaktor für den P-Anteil, multipliziert. Zweitens wird sie dem nicht invertierenden eines Addierers 73 direkt und dessen invertierendem Eingang über ein Zeitverzögerungs-  
25 glied 74 zugeführt, der eine Zeitverschiebung um eine Abtastzeit bewirkt. Das Ausgangssignal des Addierers 73 wird in einem Verstärker 75 mit dem Faktor D/T multipliziert, wobei D der Verstärkungsfaktor für den D-Anteil und T die Abtastzeit ist. Drittens wird das Ausgangssignal auf einen Eingang eines  
30 Multiplizierers 76 gelegt.

An einem zweiten Eingang (2) liegt ein Strom  $I_{\text{sum}}$  an, der zu einer Antiwindup-Schaltung 78 geführt wird, die an ihrem Ausgang ein Steuersignal LV erzeugt. Der logische Wert des  
35 Signals ist LV=1, wenn die Antiwindup-Funktion nicht aktiv

ist, und  $LV=0$ , wenn die Antiwindup-Funktion aktiv ist. Das aktive Steuersignal LV hält den Integrator des PID-Reglers an, das heißt es setzt seinen Eingang des auf null, wenn Stellgrößenbeschränkungen in dem Spulenstrom I wirksam sind, die als maximale und minimale Spulenströme durch die Ventil-  
5 magnete und zugehörigen Steuerschaltungen vorgegeben sind.

Das Steuersignal LV gelangt zu dem zweiten Eingang des Multiplizierers 76 und wird dort mit dem Ausgangssignal des Ab-  
10 tasthalteglieds 71 multipliziert. Das Ergebnis wird in einem Verstärker 79 mit der Abtastzeit T multipliziert und dann einem Eingang eines Addierers 80 zugeführt. Dessen Ausgangssignal wird auf seinen zweiten Eingang über ein Zeitverzögerungsglied 81 rückgekoppelt. Sein Ausgangssignal wird in ei-  
15 nem Verstärker 82 mit dem Verstärkungsfaktor I für den Integralanteil multipliziert oder verstärkt.

Die Ausgangssignale der drei Verstärker 72, 75 und 82 gelangen auf die Eingänge eines Addierers 84 und dessen Ausgangs-  
20 signal ergibt den Spulenstrom  $I_R$  als Stellsignal zum Regeln der Kupplungslage dar.

Ein Ausführungsbeispiel für die Berechnung des Antiwindup-Signals LV in der Antiwindup-Schaltung 78 ist aus Figur 9 er-  
25 sichtlich. Das Stellsignal Spulenstrom  $I_{sum}$  gelangt über einen weiteren Eingang 85 zu einem Zeitverzögerungsglied 86, und dessen Ausgangssignal wird in einer ersten Vergleichsschaltung 87 mit einem oberen Grenzwert  $u_L$  und in einer zweiten Vergleichsschaltung 88 mit einem unterem Grenzwert  $l_L$   
30 verglichen. Die Ausgangssignale der beiden Vergleichsschaltungen werden in einem UND-Glied 89 verknüpft und ergeben das an einem Ausgang 90 anliegende Steuersignal LV.

Bei der Darstellung der Regelergebnisse in den Figuren 10 bis  
35 13 ist das Dithersignal abgeschaltet worden, um die Regelab-

weichung besser erkennen und beurteilen zu können. Aus Figur 10 ist der Verlauf des Sollwerts  $x_{\text{soll}}$  und des Istwerts  $x_{\text{ist}}$  der Kupplungsposition sowie der Regelfehler  $e$  bei einer Regelung ohne Vorsteuerungsanteil ersichtlich. Der Sollverlauf ist sinusförmig mit einer Periodendauer von 0,3 Sekunden. Bei dem Regelfehler  $e = x_{\text{soll}} - x_{\text{ist}}$  beträgt die maximale Abweichung etwa  $\pm 2,5$  mm.

Aus Figur 11 ist der Verlauf des Sollwerts  $x_{\text{soll}}$  und des Istwerts  $x_{\text{ist}}$  der Kupplungsposition sowie der Regelfehler  $e$  bei einer erfindungsgemäßen Regelung mit Vorsteuerungsanteil ersichtlich. Die Abweichungen sind deutlich kleiner als bei der Regelung ohne Vorsteuerung. Der P-Parameter des Reglers kann hier verringert und damit die Schwingneigung der Kupplungslageregelung reduziert werden. Der in Figur 10 sichtbare hochfrequente Anteil des Regelfehlers tritt in Figur 11 nicht auf. Bei der Regelung ohne Vorsteuerung hingegen ist ein hoher Wert des P-Parameters notwendig, da der Regler das Stell-signal aus einer möglichst kleinen Regelabweichung erzeugen soll.

Aus Figur 12 ist die Stellgröße Spulen- oder Magnetstrom bei einer Regelung ohne Vorsteuerungsanteil ersichtlich.

Aus Figur 13 ist die Stellgröße Spulen- oder Magnetstrom bei einer erfindungsgemäßen Regelung mit Vorsteuerungsanteil ersichtlich. Wegen des kleinen P-Anteils im Regler treten wesentlich weniger hochfrequente Anteile auf, die Regelung ist erheblich wirksamer.

Ein aus Figur 14 ersichtliches Ablaufdiagramm eines in dem Kupplungsbetätigungssystem 14 (Figur 2) abgearbeiteten Programms weist folgende Schritte auf.



**Start:** Sobald von der elektronischen Steuerung 8 (Figur 1) ein Schaltvorgang eingeleitet wird, wird in einem Schritt

5     **S1:** eine Kupplungssollposition vorgegeben. Dann wird einerseits in einem Schritt

**S2:** ein Vorsteuerstrom wird mit einem inversen Streckenmodell, das das Hydraulik-Ventil, den Stellzylinder und die Kupplung einschließt, berechnet. Andererseits wird in einem Schritt

10    **S3:** die Differenz zwischen der Kupplungssollposition und der Kupplungsistposition gebildet, und in einem Schritt

**S4:** wird der Reglerstrom mit dem Antiwindup-PID-Regler berechnet. Sowohl nach dem Schritt S4 als auch nach dem Schritt S2 werden in einem Schritt

15    **S5:** der Steuerstrom und der Reglerstrom addiert. In einem Schritt

**S6:** wird auf das Summensignal ein Dither-Signal aufgeschaltet und eine Signalbegrenzung durchgeführt. In einem Schritt

20    **S7:** wird der Eingangsstrom für das Stellglied (Ventil) berechnet. Danach werden in

**S8:** der Stellzylinder und die Kupplung betätigt. Schließlich wird in

**S9:** die Kupplungsistposition ermittelt. Anschließend erfolgt

25    ein Rücksprung zu den Schritten S2 und S3. Das Programm wird zyklisch wiederholt (zum Beispiel alle 4 ms. Eine Kupplungsbetätigung ist etwa nach 30 ms beendet.) Es folgt das

**Ende.**

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Steuern einer automatischen Kraftfahrzeugkupplung (23) mit einem hydraulischen Stellglied (4) zum Betätigen der Kupplung und einem elektromagnetisch betätigten Ventil (17), mit dessen Spulenstrom ein Volumenstrom (Q) gesteuert wird, der in dem Stellglied einen Druck aufbaut und damit die Position ( $x_z$ ) der Kupplung festlegt, indem aus einem Positionssollwert und dem Istwert der Position eine Regelabweichung ( $\Delta x$ ) ermittelt und daraus ein Regelsignal berechnet wird, mit dem die Kupplungsposition gesteuert wird, dadurch gekennzeichnet, dass dem Regelsignal ein aus einem Positionssollwert der Kupplung berechnetes Vorsteuersignal ( $I_{vs}$ ), mit dem Nichtlinearitäten der Regelung kompensiert werden, additiv hinzugefügt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass eine PID-Regelung mit einer definierten Rücksetzung des Integrators durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, - dass ein Vorsteuerstrom mit einem inversen Streckenmodell berechnet wird, - dass aus der Regelabweichung mit einem Antiwindup-

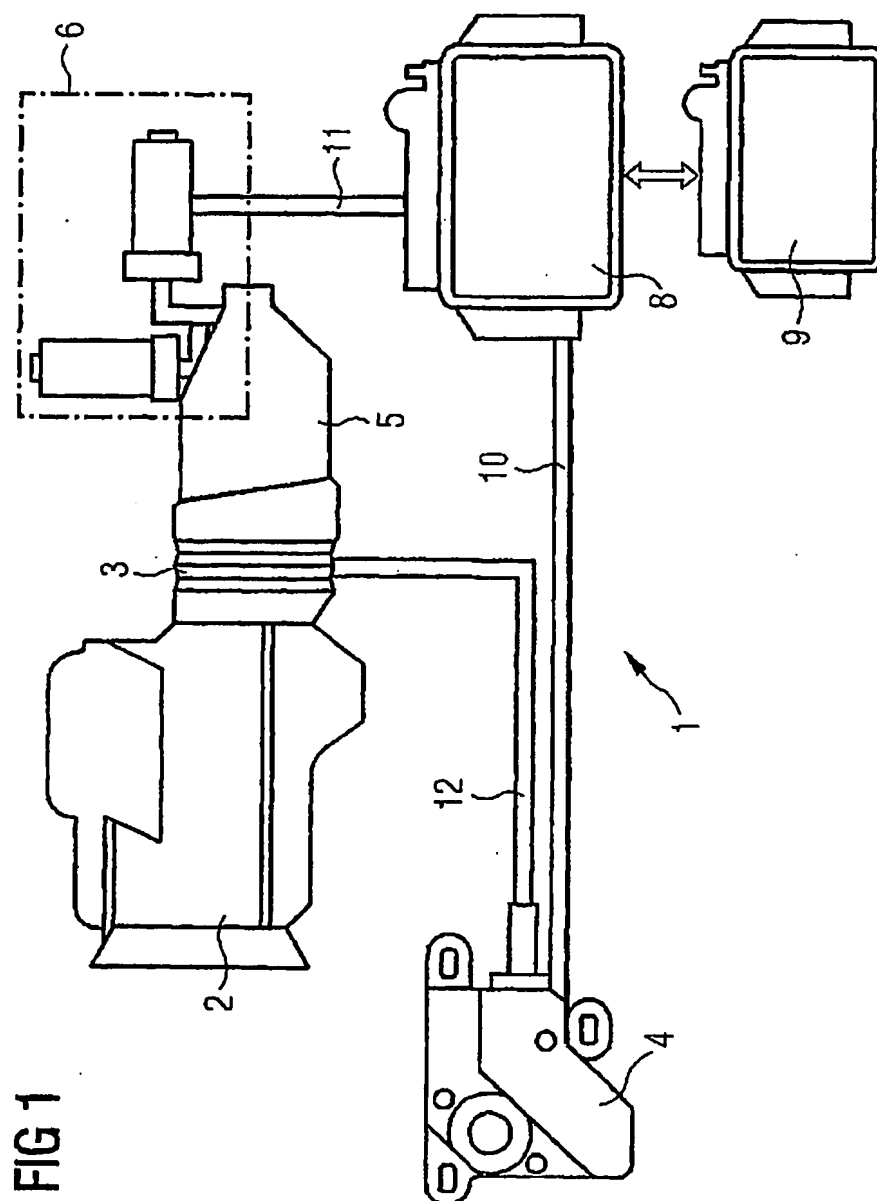
Algorithmus ein Regelstrom ( $I_R$ ) berechnet wird, - dass der Vorsteuerstrom ( $I_{vs}$ ) und der Regelstrom ( $I_R$ ) summiert werden, und - dass die Summe dieser Signale zum Einstellen der Kupplungsposition verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zu der Summe des Vorsteuerstroms ( $I_{vs}$ ) und des Regelstroms ( $I_R$ ) ein Dithersignal addiert wird, mit dem die Magnethysterese und Reibungseffekte in dem Ventil (17) reduziert werden.

5. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Signalamplitude des als Summe des Vorsteuerstroms und des Regelstromes gebildeten Signals mit einer Begrenzerschaltung  
5. beidseitig begrenzt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass zu dem als Summe des Vorsteuerstroms und des Regelstromes gebildeten Signals eine durch die Funktionsauswertung verursachte  
10 Totzeit nachgebildet wird.

1/9



2/9

FIG 2

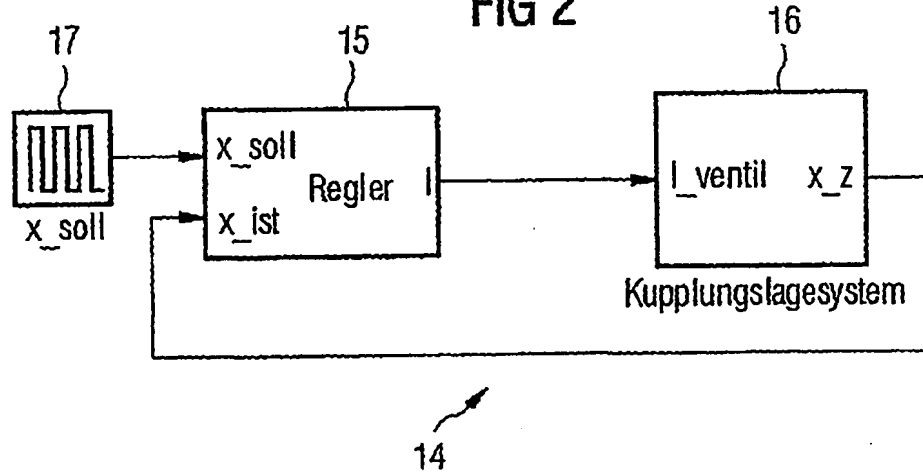
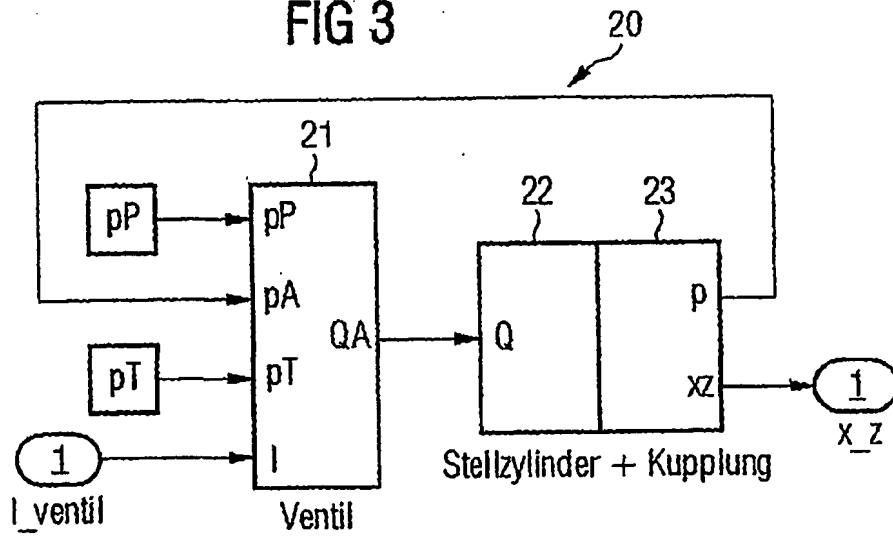
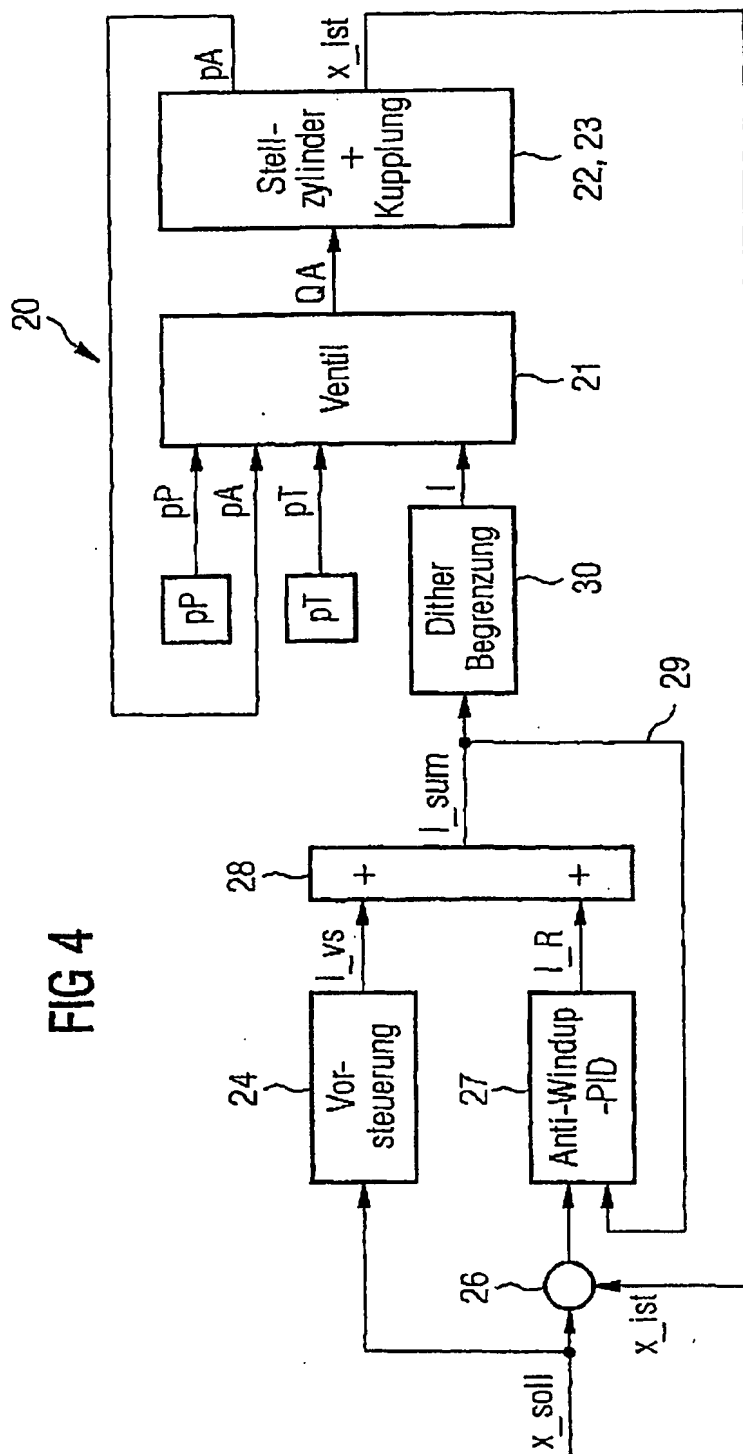
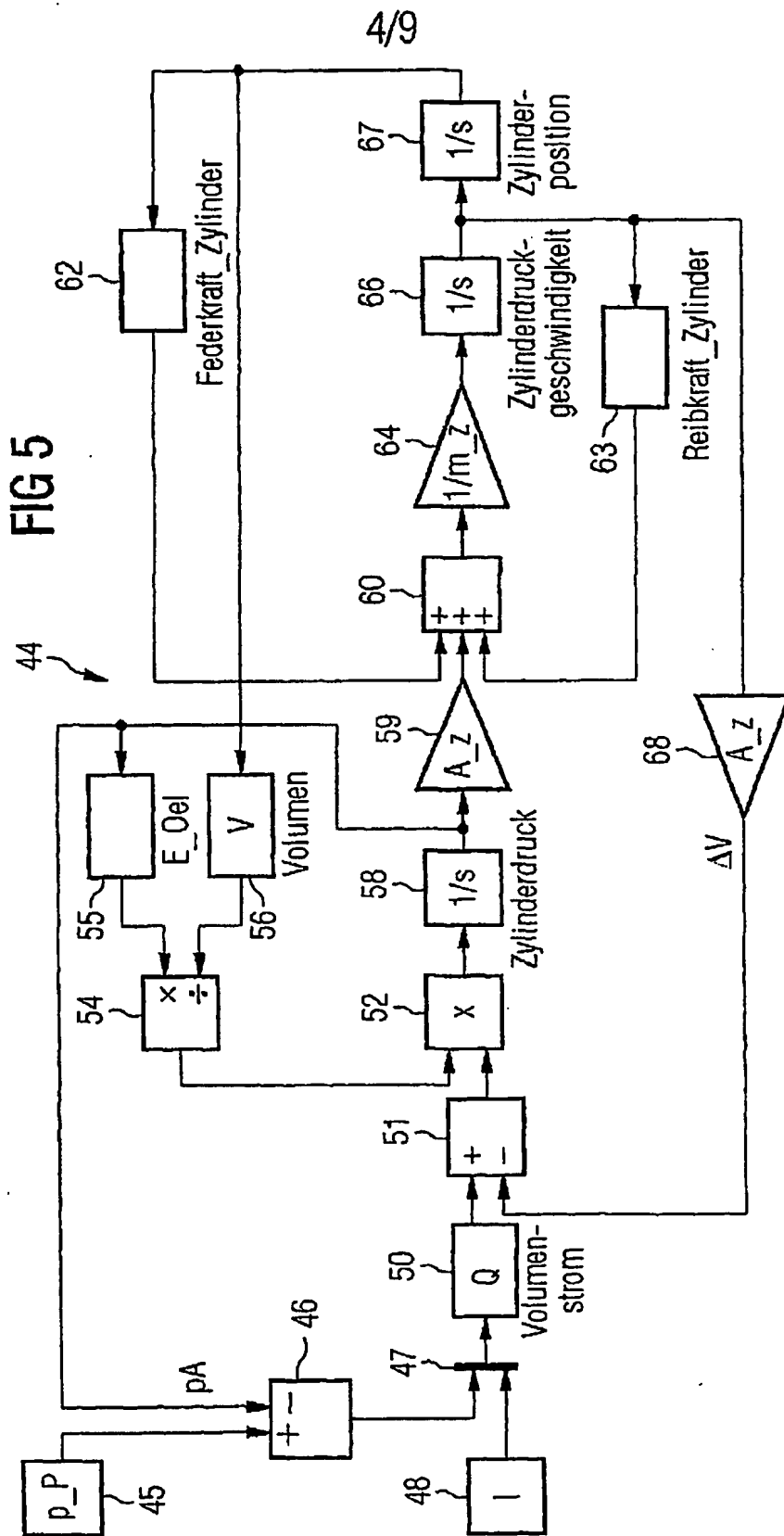


FIG 3



3/9





5/9

FIG 6

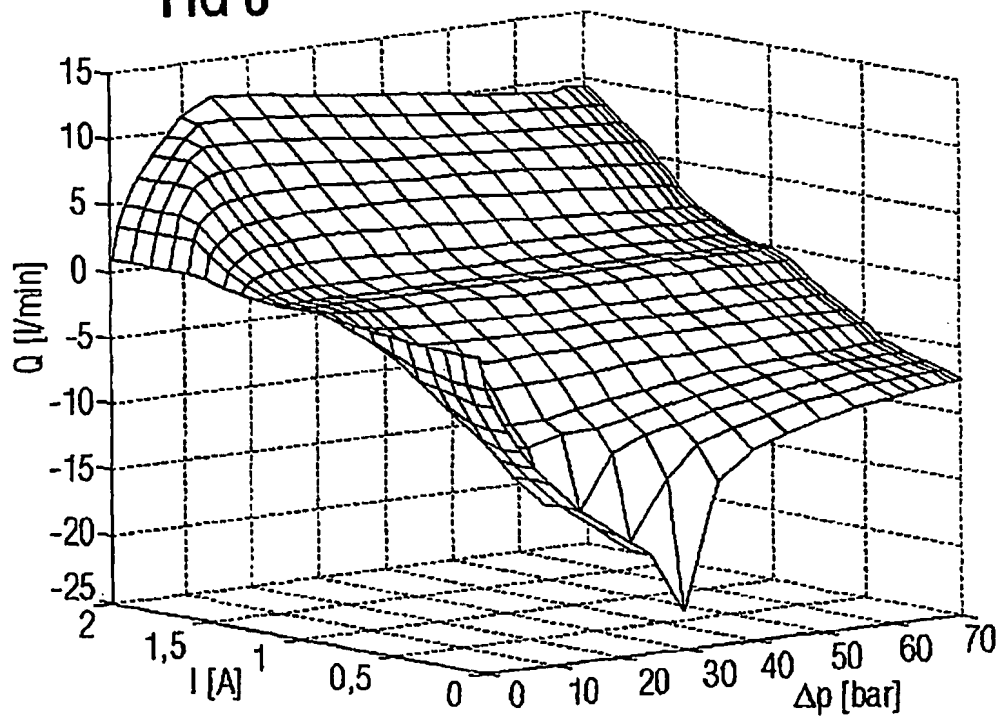
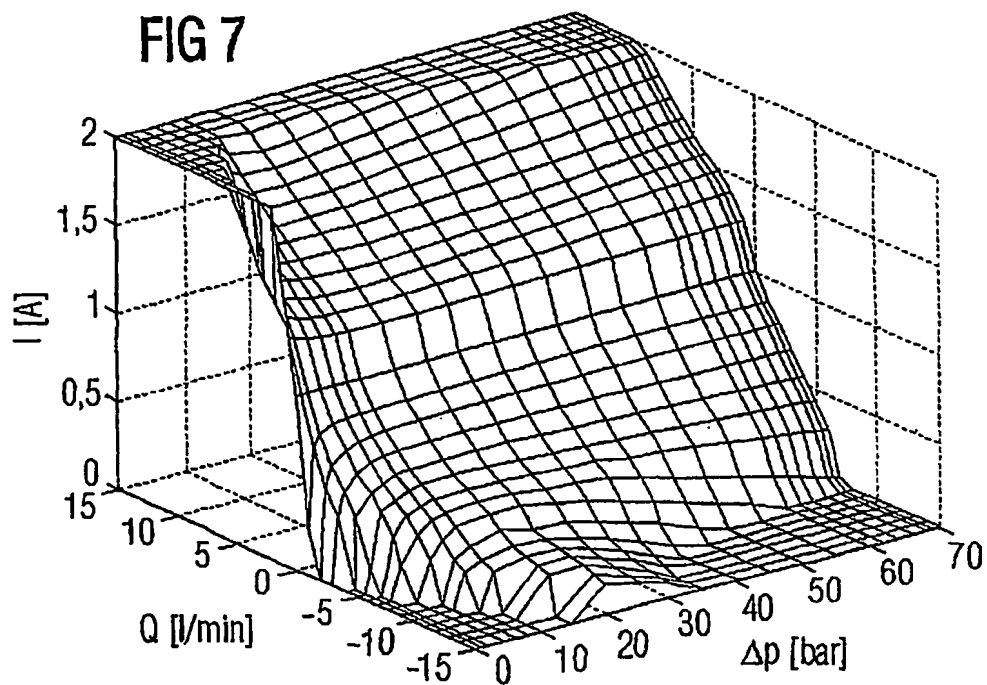


FIG 7





6/9

FIG 8

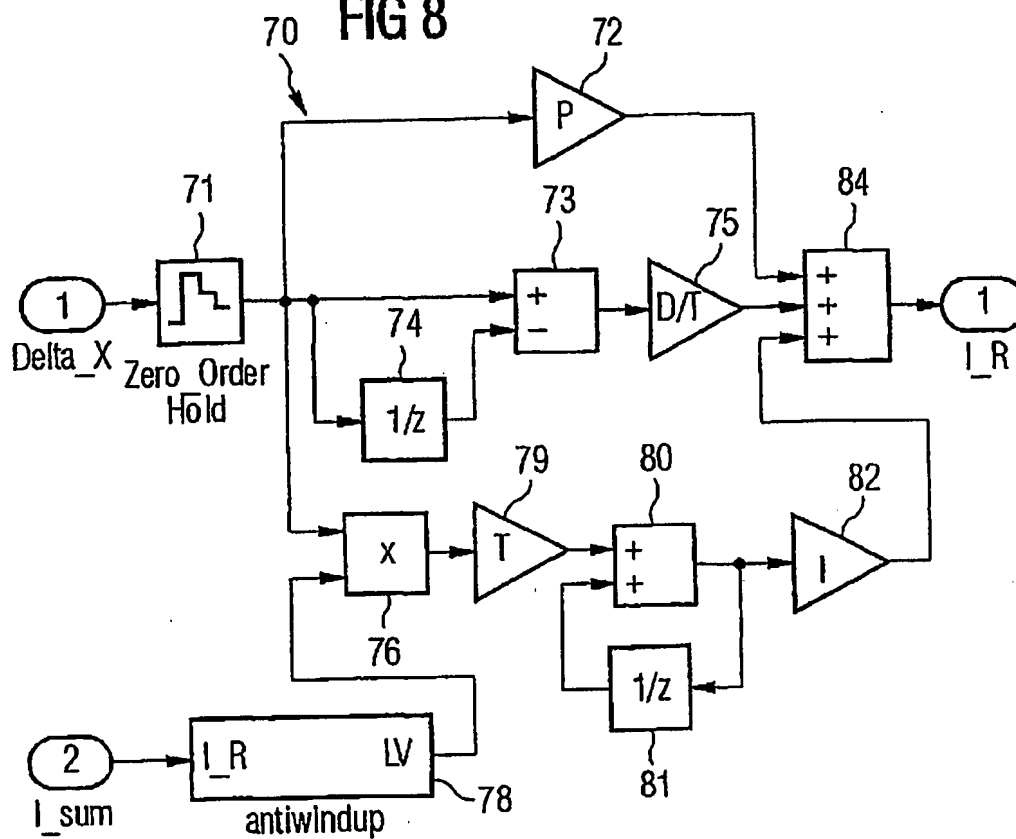
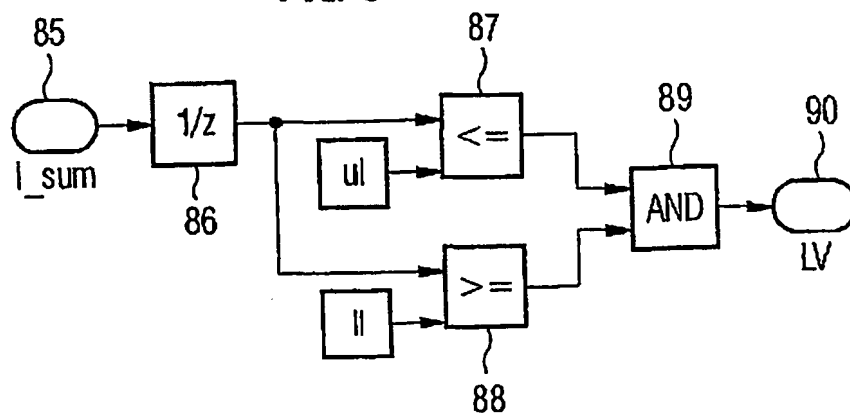


FIG 9



7/9

FIG 10

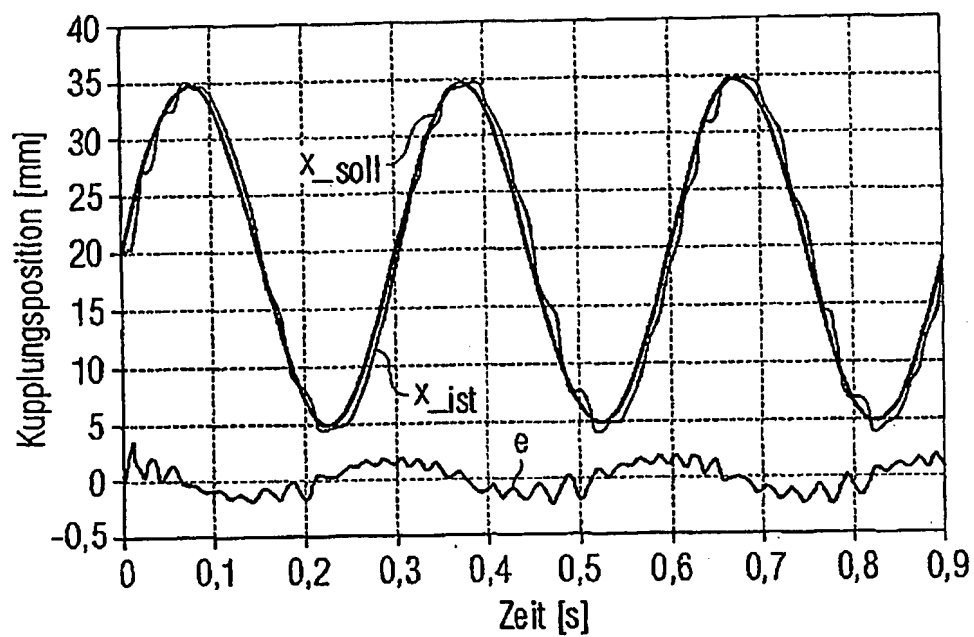
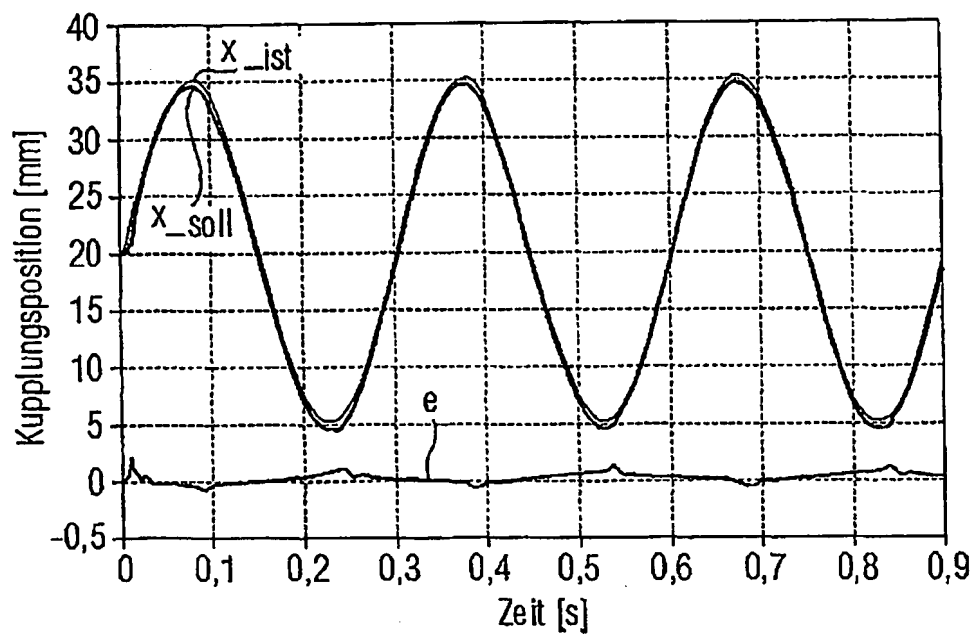


FIG 11



8/9

FIG 12

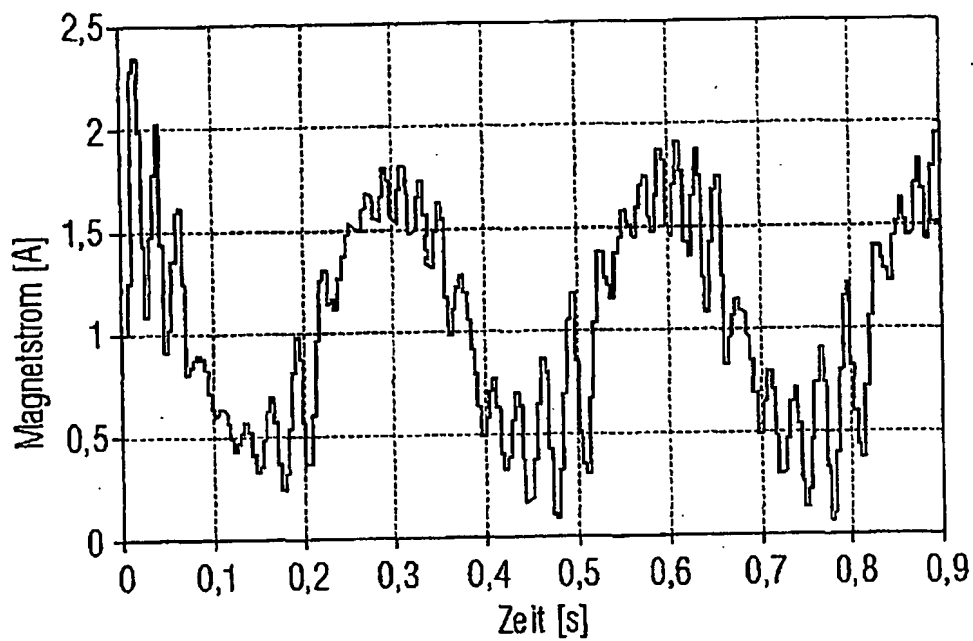


FIG 13

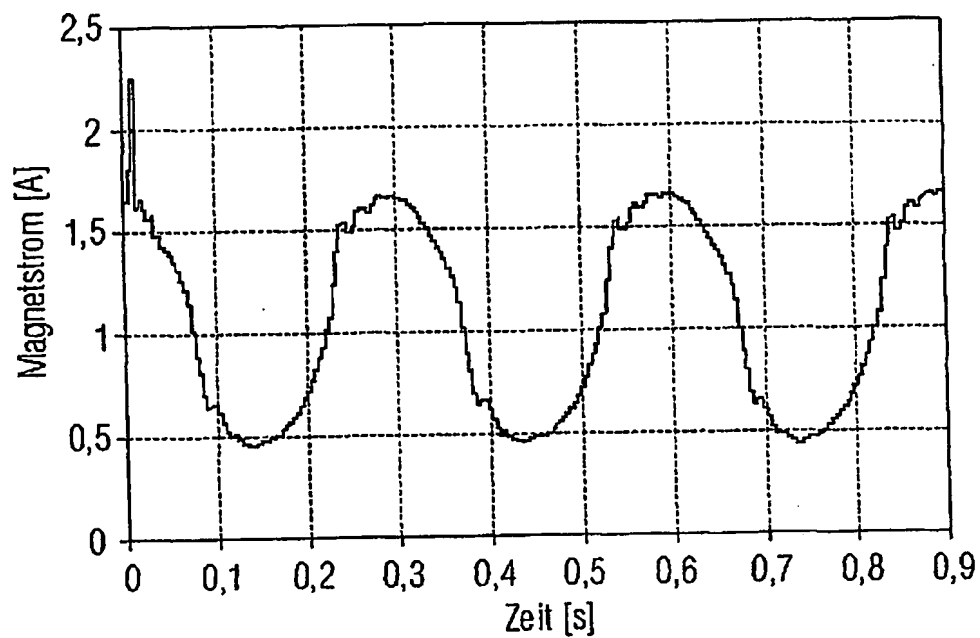
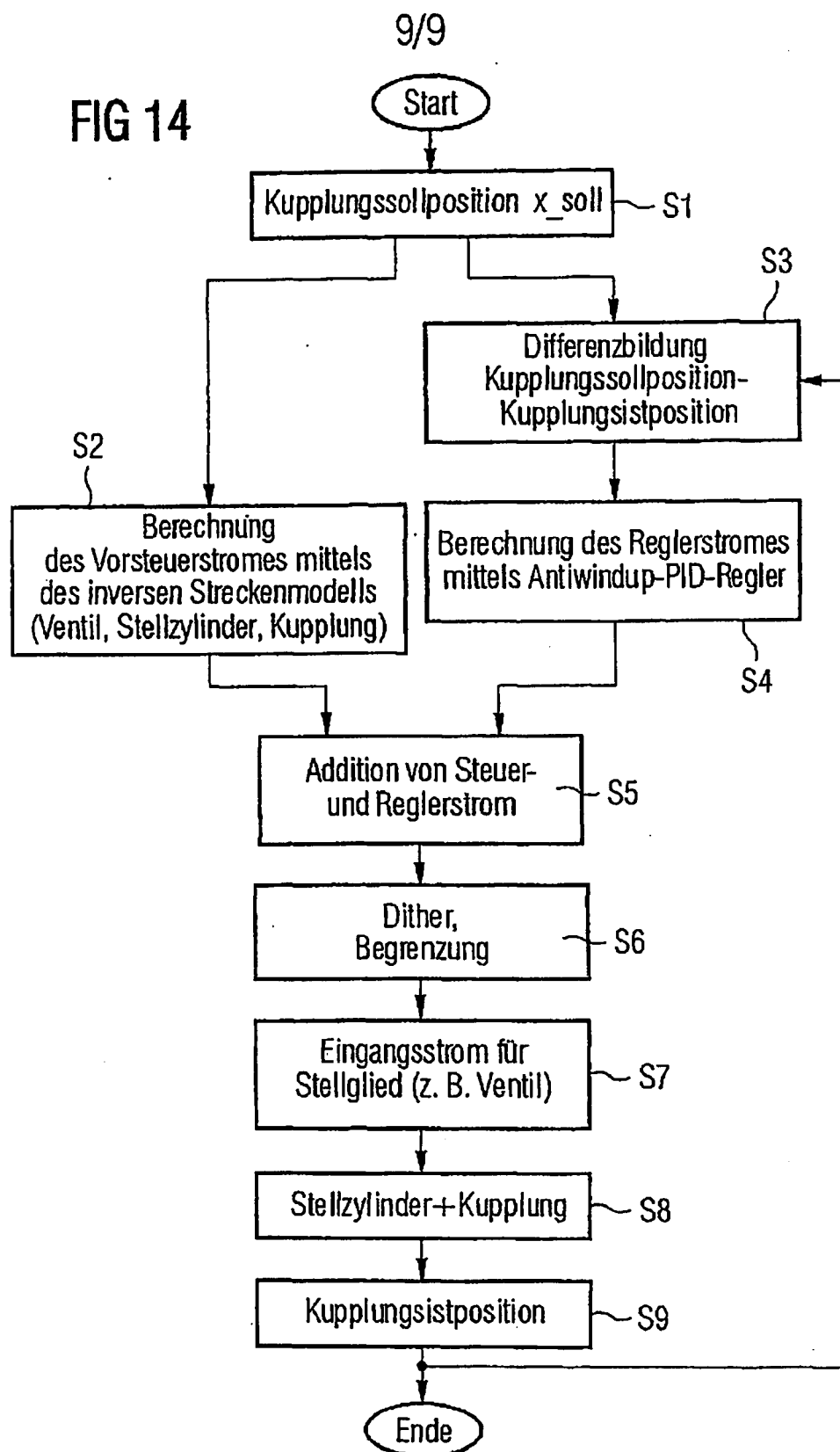


FIG 14



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PC, 01/03573

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 F16D48/06

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 F16D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 489 012 A (BUCKLEY STEPHEN D ET AL) 6 February 1996 (1996-02-06) column 2, line 28 - line 38 figure 2	1
A	WO 98 24008 A (OJAMIES ARI ; BECHER ALWIN (DE); GENZEL MICHAEL (DE); MOELLER RODOL) 4 June 1998 (1998-06-04) the whole document	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*Z\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

1 February 2002

Date of mailing of the international search report

12/02/2002

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Clasen, M

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No  
PCT/DE 01/03573

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5489012	A	06-02-1996	DE 69216429 D1	13-02-1997
			DE 69216429 T2	17-07-1997
			EP 0613426 A1	07-09-1994
			WO 9310994 A1	10-06-1993
			JP 7501385 T	09-02-1995
			KR 252771 B1	15-04-2000
WO 9824008	A	04-06-1998	WO 9824008 A1	04-06-1998

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PC1, DE 01/03573

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 F16D48/06

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 F16D

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 489 012 A (BUCKLEY STEPHEN D ET AL) 6. Februar 1996 (1996-02-06) Spalte 2, Zeile 28 - Zeile 38 Abbildung 2	1
A	WO 98 24008 A (OJAMIES ARI ; BECHER ALWIN (DE); GENZEL MICHAEL (DE); MOELLER RODOL) 4. Juni 1998 (1998-06-04) das ganze Dokument	1



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* Älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt worden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

1. Februar 2002

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

12/02/2002

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2260 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Beauftragter

Clasen, M

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/DE 01/03573

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5489012 A	06-02-1996	DE 69216429 D1	13-02-1997
		DE 69216429 T2	17-07-1997
		EP 0613426 A1	07-09-1994
		WO 9310994 A1	10-06-1993
		JP 7501385 T	09-02-1995
		KR 252771 B1	15-04-2000
WO 9824008 A	04-06-1998	WO 9824008 A1	04-06-1998